

Pengaruh Penambahan *Blade* pada *Intake Valve* untuk Optimasi *Swirl* pada Diesel dengan Simulasi CFD

Nurudin Luqman Arif¹, Sudiyono², dan Priyo Agus Setiawan³

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia¹

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: nurudinluqman@gmail.com^{1*}; sudiyono2000@yahoo.com²; priyoas@ppns.ac.id³;

Abstract - Because of the importance of limiting exhaust emissions in the future and looking for more environmentally friendly fuels, the design of combustion engine is continuously improve the combustion process which aims to reduce fuel consumption and engine exhaust emissions. Swirl is a turbulent air flow pattern during the suction process which affects the process of mixing and combustion process. This research uses Computational Fluid Dynamic method. There are 9 models of variations in this study, by adding a blade to the intake valve head with a slope angle of 90°, 60°, 30° and the number of blade 2, 3, 4 with a configuration of 180°, 120°, 90°. The variation of model is used to examine changes in fluid characteristics (velocity, temperature, and pressure) flowing through the variation model and the effect of changes in the swirl ratio value on each intake valve model that affects the combustion process. From the results of the study, the model of the addition of the blade obtained includes models 90M2, 90M3, 90M4, 60M2, 60M3, 60M4, 30M2, 30M3 and 30M4. The decrease in velocity was found in the 30M4 model which has 10.668 m/s, 6.723 m/s, and 5.91 m/s. The air temperature in the largest increase on 30M4 model, was 300.004 K, 300.055 K, and 300.053 K. The highest air pressure increase was on the 30M4 model which was 99,100 Pa, 99,138 Pa, and 99,144 Pa. The lowest swirl ratio decrease is found on the 60M4 model, which is 0.1 and the highest swirl ratio is obtained from the variation model which is 0.29 which is found in the 90M3 and 30M4 models

Keyword: Blade, CFD, Diesel, Intake Valve, Swirl,

Nomenclature

Q	Debit aliran fluida
A_v	Valve inner seat area
v_0	Kecepatan aliran udara intake
ρ	Massa jenis fluida
n_v	Jumlah katup intake
\dot{m}	Laju alir massa
T	Torsi paddle wheel
$\alpha_{2-\alpha_1}$	Bukaan katup selama proses hisap
C_f	Flow Coefficient
C_s	Swirl Coefficient
B	Diameter silinder
S	Langkah atau stroke
D	Diameter dudukan katup bagian dalam

1. PENDAHULUAN

Pada penelitian ini, akan dibuat pemodelan bentuk *intake valve* dengan menambahkan *blade* pada *head valve* pada mesin diesel 4-langkah. Dengan penambahan bentuk model *intake valve* diharapkan aliran yang melewatinya menjadi turbulen dan terbentuk pola *swirl* yang lebih optimal pada ruang pembakarannya. Pengujian secara fisik dirasa tidak memungkinkan dikarenakan akan memerlukan biaya yang lebih besar dan memakan waktu yang cukup lama untuk pembuatannya di laboratorium atau

bengkel. Jadi, pemodelan dan simulasi numerik tentang aliran fluida yang melalui *intake valve* menggunakan CFD merupakan pilihan metode yang tepat mengingat kendala yang disebutkan sebelumnya. Pada proses penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk acuan atau dasar pembuatan *intake valve* yang berpengaruh pada proses pembakaran mesin yang lebih optimal dan emisi gas buang yang rendah.

isi, antara tabel dengan isi, antara persamaan matematika dengan isi.

2. METODOLOGI

2.1 Aliran Fluida pada Intake Port

Pada siklus aliran fluida melalui intake port, ada pembatasan atau pengurangan area aliran. Aliran aktual yang melewati intake port biasanya berhubungan dengan aliran ideal yang ekuivalen. Breathing capacity atau debit aliran fluida yang melewati *intake port* didefinisikan sebagai flow koefisien C_f , yang dirumuskan sebagai berikut:

$$C_f = \frac{Q}{n_v A_v v_0} = \frac{\dot{m}}{n_v \rho A_v v_0} \quad (1)$$

2.2 Swirl

Swirl biasanya didefinisikan sebagai pola aliran fluida turbulen yang berotasi terorganisir yang sumbu sejajar pada sumbu silinder. *Swirl* digunakan pada mesin diesel dan beberapa konsep mesin sejenis untuk mempercepat pencampuran antara udara induksi dan bahan bakar yang diinjeksikan. Koefisien *swirl* didefinisikan sebagai koefisien untuk membandingkan aliran momentum sudut dengan momentum aksialnya. Untuk koefisien *swirl* C_s , ditentukan oleh:

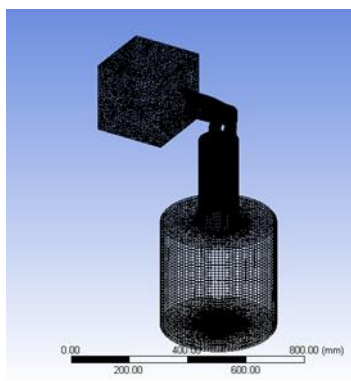
$$C_s = \frac{8T}{\rho v_0 B} \quad (2)$$

Swirl ratio didefinisikan sebagai aliran putar pada silinder, yang memiliki momentum sudut yang sama dengan aliran aktual, dibagi dengan kecepatan sudut *crankshaft*. Semakin besar nilai *swirl ratio* maka semakin cepat pula proses pencampuran bahan bakar pada ruang bakar [1]. Untuk perhitungan *swirl ratio* selama proses hisap menurut [2], dapat didefinisikan sebagai berikut

$$R_s = \frac{BS}{D^2} \frac{\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} C_f C_s d\alpha}{\left[\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} C_f d\alpha \right]^2} \quad (3)$$

2.3 Simulasi Numerik

Untuk mengatasi permasalahan diatas, maka dilakukan simulasi numerik untuk mengetahui aliran *swirl* yang terjadi selama fase hisap (*intake*). Dengan metode *computational fluid dynamic*, aliran fluida yang melewati *intake valve* dapat dianalisa dengan presisi. *Boundary* yang digunakan pada penelitian ini meliputi *inplenum* (*inlet*), *intake port*, *intake valve*, *chamber*, dan *outplenum* (*outlet*). Jumlah *grid cell* yang digunakan sebesar 800000 *cells*.



Gambar 1 Meshing Tampak Isometri

Turbulence model yang digunakan yaitu *k-epsilon* dengan *standard wall function* untuk interaksi aliran fluida dengan dinding. *Measurement surface* diletakkan pada 1.75B dibawah kepala silinder untuk mengukur torsi *swirl*. UDF digunakan pada *measurement surface* supaya didapat torsi yang dihasilkan oleh aliran fluida yang melewati *intake valve*. Berikut domain-domain dari geometri yang harus dimasukkan input data:

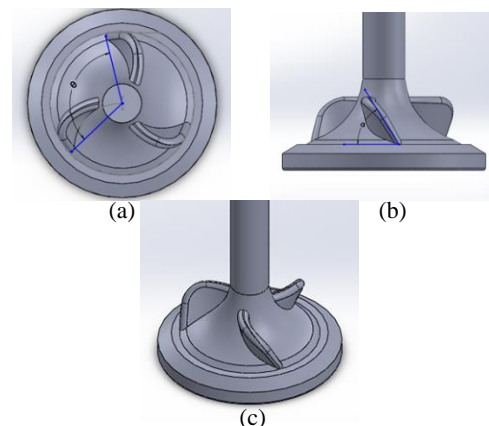
Tabel 1 Input Boundary Condition

Nama Domain	Type	Input Data
Ice-cyl	wall	-
Ice-inlet-inplenum1	pressure-inlet	0 Pa _{gauge} @ 300 K
Ice-int-chamber-chamber0	interior	-
Ice-outlet	pressure-outlet	-2164 Pa _{gauge}
Ice-slipwall-inplenum1	wall	-
Ice-slipwall-outplenum	wall	-
Ice-valve-proximity-faces	wall	-
Interior-ice-fluid-port	interior	-
Wall-ice-fluid-port	wall	-

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan

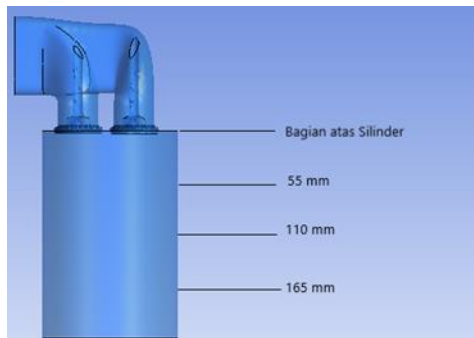
Tahap pembuatan model dilakukan menggunakan software *solidworks* untuk pembuatan model *intake valve* dan silinder. Menurut [3], bentuk penambahan *intake valve shrouded* mengindikasikan penambahan *swirl ratio* dan dijadikan konsep desain awal penelitian ini. Variabel yang sama dalam pembuatan model ini yaitu tebal blade dengan ukuran 3 mm dan tinggi *blade* dengan ukuran 11 mm sesuai dengan bukaan katup.



Gambar 2 Blade pada Intake Valve
(a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan, dan (c) Tampak Isometri

Pada variabel yang berbeda, sudut antara blade dengan bidang permukaan head intake valve dibuat kemiringan 30°, 60°, dan 90°. Untuk variabel kedua yang berbeda yaitu jumlah blade pada intake valve dibuat dengan jumlah 2 dengan konfigurasi 180°, 3 dengan konfigurasi 120°, dan 4 dengan konfigurasi 90° dari sumbu tengah *intake valve*.

Untuk mengukur dan menampilkan karakteristik aliran fluida yang diinginkan maka dibuat *plane* (lokasi referensi) dibawah posisi atas silinder yaitu 55 mm, 110 mm, dan 165 mm. Untuk gambar yang lebih jelas akan ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 3 Plane pada silinder

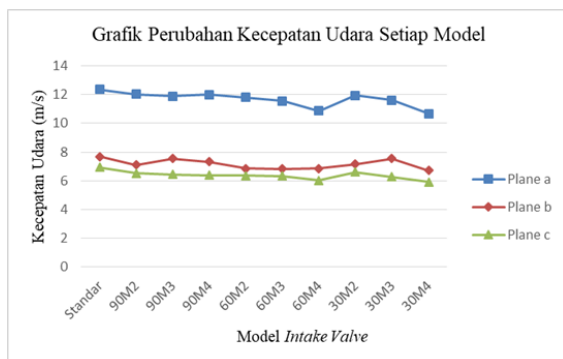
Validasi model dilakukan untuk mencocokkan apakah geometri dan *setting* yang dibentuk sesuai dengan kondisi nyata. Dalam hal ini, perhitungan *swirl ratio* dengan data yang diperoleh dari hasil simulasi digunakan untuk mengkorelasikan dengan nilai *swirl ratio* yang ada pada jurnal [3].

Tabel 2 Validasi *Swirl Ratio* Hasil Simulasi dan Jurnal

Rs Jurnal	Rs Simulasi	Error (%)
0.52	0.46	11.8

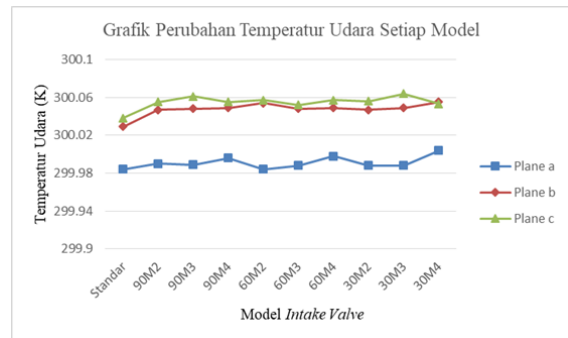
3.2 Karakteristik Aliran Fluida

Kecepatan aliran fluida yang mengalir di dalam ruang bakar berpengaruh pada pemasokan udara untuk pembakaran. Semakin besar kecepatan udara semakin menaikkan efisiensi volumetrik tetapi tidak selamanya menaikkan efisiensi termal karena pada kecepatan udara tertentu efisiensi termalnya menurun [4].



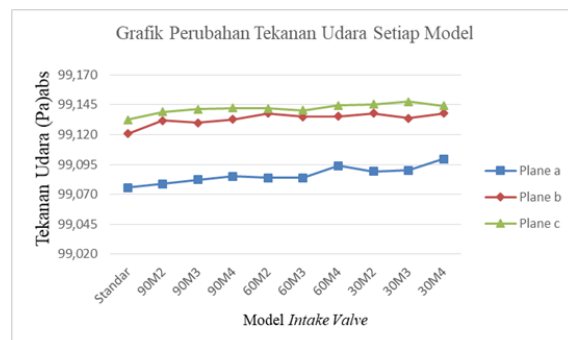
Gambar 4. Grafik Perubahan Kecepatan Udara terhadap Plane Pengukuran

Dari tren grafik di atas dapat dilihat bahwa pada plane a terjadi penurunan kecepatan udara pada model 60M4 dan 30M4 yaitu sebesar 10.856 m/s dan 10.668 m/s secara berurutan, pada plane b penurunan kecepatan udara paling signifikan terjadi pada katup 30M4 yaitu sebesar 6.7325 m/s. Hal ini dikarenakan bentuk dan jumlah blade pada katup model 30M4 yang menghambat aliran udara yang mengalir melewatinya. Pada plane c tidak terjadi penurunan kecepatan udara secara signifikan, dalam hal ini kecepatan udara yang terendah terletak pada model 30M4 yaitu sebesar 5.912 m/s.



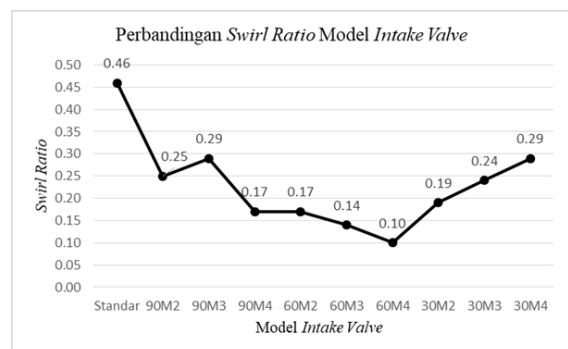
Gambar 5. Grafik Perubahan Temperatur Udara terhadap Plane Pengukuran

Menurut grafik di atas, maka didapat kenaikan temperatur udara pada setiap model variasi. Kenaikan temperatur udara paling tinggi pada plane a terletak pada model 30M4 yaitu sebesar 300.04 K. Pada plane b kenaikan temperatur udara paling tinggi terletak pada model 30M4 sebesar 300.055 K. Dan pada plane c kenaikan temperatur udara sebesar 300.06 K pada model 30M3.



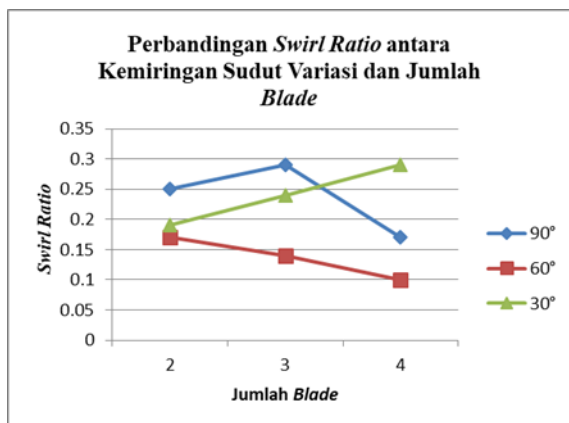
Gambar 6 Grafik Perubahan Tekanan Udara terhadap Plane Pengukuran

Menurut grafik di atas maka dapat disimpulkan bahwa perubahan tekanan terjadi pada plane a yaitu didapat kenaikan tekanan dari model 90M2 sampai 30M4 karena dapat dilihat dari tren grafik yang terus naik meskipun tidak signifikan. Kenaikan tekanan yang paling tinggi pada plane a sebesar 99100 Pa. Sedangkan pada plane b terjadi peningkatan udara paling tinggi terletak pada model 30M4 sebesar 99138 Pa. Pada plane c, terdapat kenaikan tekanan udara tertinggi sebesar 99147 Pa pada 30M4.



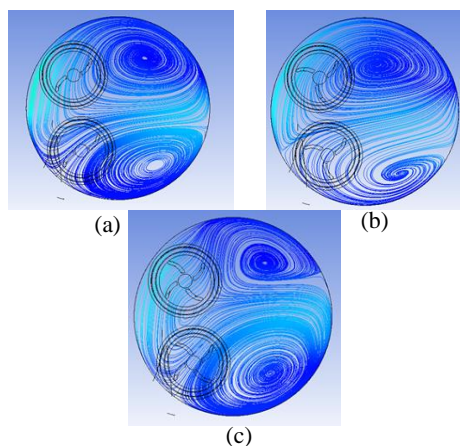
Gambar 7 Grafik Perubahan Swirl Ratio pada Setiap Model

Grafik pada gambar 7 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai *swirl ratio* dari setiap model variasi *intake valve*. Hasil nilai *swirl ratio* yang paling rendah terdapat pada model 60M4 yaitu sebesar 0.1. Hal ini dikarenakan terjadinya bentuk dua pola *swirl* yang saling berlawanan arah putaran pada silinder sehingga menghasilkan resultan torsi yang kecil dan mengakibatkan nilai *swirl coefficient* yang turun. Pada model variasi yang lain juga didapati dua pola aliran *swirl* yang saling berlawanan arah sehingga dihasilkan torsi yang lebih kecil. Nilai *swirl ratio* paling tinggi terdapat pada model 90M3 dan 30M4 yang menghasilkan torsi sedikit lebih besar dari pada model yang lain

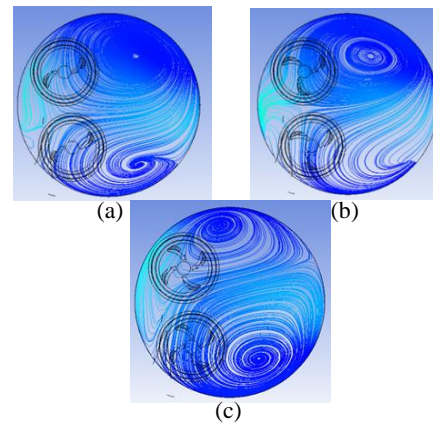


Gambar 8 Grafik Perbandingan Swirl Ratio antara Kemiringan Sudut dan Jumlah Blade

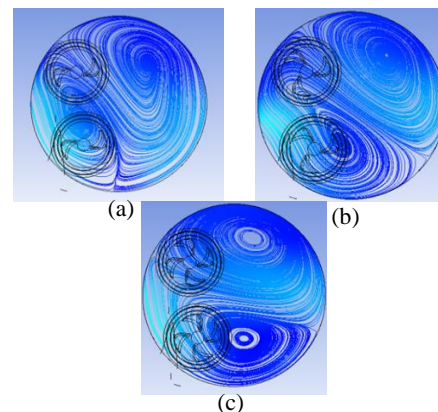
Pada grafik di atas yang ditunjukkan pada gambar 4.55 didapat bahwa peningkatan *swirl ratio* terdapat pada model variasi dengan kemiringan sudut 30° seiring dengan bertambahnya jumlah *blade* yaitu sebesar 0.19, 0.24, dan 0.29. Penurunan *swirl ratio* ditunjukkan pada model variasi dengan kemiringan sudut 60° sering dengan bertambahnya jumlah *blade* yaitu sebesar 0.17, 0.14, dan 0.1. Sedangkan pada model dengan kemiringan sudut 90° terjadi kenaikan *swirl ratio* pada jumlah *blade* 3 buah sebesar 0.29 dan mengalami penurunan pada jumlah *blade* 4 buah sebesar 0.17.



Gambar 9 Bentuk Pola Aliran Swirl pada Intake Valve (a)90M2, (b)90M3, dan (c)90M4 di measurement surface



Gambar 10 Bentuk Pola Aliran Swirl pada Intake Valve (a)60M2, (b)60M3, dan (c)60M4 di measurement surface



Gambar 11 Bentuk Pola Aliran Swirl pada Intake Valve (a)30M2, (b)30M3, dan (c)30M4 di measurement surface

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Model penambahan *blade* yang didapat meliputi model 90M2, 90M3, 90M4, 60M2, 60M3, 60M4, 30M2, 30M3 dan 30M4.
2. Penurunan kecepatan udara terdapat pada model 30M4 yaitu sebesar 10.668 m/s, 6.723 m/s, dan 5.91 m/s. Temperatur udara mengalami kenaikan paling besar pada model 30M4 yaitu sebesar 300.004 K, 300.055 K, dan 300.053 K. Kenaikan tekanan udara tertinggi terletak pada model 30M4 yaitu sebesar 99,100 Pa, 99,138 Pa, dan 99,144 Pa.
3. Penurunan *swirl ratio* terendah terdapat pada model 60M4 yaitu sebesar 0.1 dan didapatkan *swirl ratio* tertinggi dari model variasi yaitu 0.29 yang terdapat pada model 90M3 dan 30M4. Peningkatan nilai *swirl ratio* terhadap jumlah *blade* terdapat pada model dengan kemiringan 30° yaitu sebesar 0.19, 0.24, dan 0.29. Penurunan nilai *swirl ratio* terhadap jumlah *blade* terdapat pada model dengan kemiringan 60° yaitu 0.17, 0.14, dan 0.1.

5. PUSTAKA

- [1] T. Tulwin, "The Swirl Ratio Influence on Combustion Process and Heat Transfer in the Opposed Piston Compression-Ignition Engine," *COMBUSTION ENGINES*, pp. 1-6, 2017.
- [2] J. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Massachusetts: McGraw-Hill, Inc, 1988.
- [3] B. Roy, "Characterization of Shrouded Intake Valve in terms of Mean Flow Coefficient and Swirl Ratio," *International Journal of Applied Engineering Research*, pp. 273-277, 2017.
- [4] R. D. R. Kern Y. Kang, "The Effect of Intake Valve Alignment on Swirl Generation in a DI Diesel Engine," *Experimental Thermal and Fluid Science* 20, pp. 94-103, 1999.
- [5] P. Kristianto, "Pengaruh Suhu dan Tekanan Udara Masuk Terhadap Kinerja Motor Diesel Tipe 4 JA 1," *JURNAL TEKNIK MESIN*, 2000.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”